DCIE | Divulgación Científica de Investigación y Emprendimiento
ISSN: 3028-9157 (En línea)
ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

Medición de caudales: evaluación comparativa entre canaleta Parshall y método del flotador en el canal Toma Alta-San Francisco-Bagua-Amazonas

Flow rate measurement: comparative evaluation of the Parshall flume and the float method in the Toma Alta-San Francisco-Bagua-Amazonas canal.

Medição de vazões: avaliação comparativa entre a calha Parshall e o método do flutuador no canal Toma Alta-San Francisco-Bagua-Amazonas

[1] Ronald Omar Estela Urbina[1], Universidad Nacional Intercultural "Fabiola Salazar Leguía" de Bagua-Perú; restela@unibagua.edu.pe ; https://orcid.org/0000-0001-5240-1242
[2] Jahaira Katerine Martinez Racho[2], Universidad Nacional Intercultural "Fabiola Salazar Leguía" de Bagua-Perú; jmartinez@unibagua.edu.pe ; https://orcid.org/0009-0007-1490-8027
[3] Alex Junior Libaque Pasapera[3], Universidad Nacional Intercultural "Fabiola Salazar Leguía" de Bagua-Perú; alibaque@unibagua.edu.pe ; https://orcid.org/0009-0006-1411-7666
[4] Jose Ulises Cruz Vega[4], Universidad Nacional Intercultural "Fabiola Salazar Leguía" de Bagua-Perú; jcruzvega@unibagua.edu.pe ; https://orcid.org/0009-0006-2170-9168
[5] Andry Jarosik Cotrina Patiño[5] Universidad Nacional Intercultural "Fabiola Salazar Leguía" de Bagua-Perú; acotrina@unibagua.edu.pe ; https://orcid.org/0009-0008-0223-7673
[6] Giovana Terrones Cruz[6] Universidad Nacional Intercultural "Fabiola Salazar Leguía" de Bagua-Perú; gterrones@unibagua.edu.pe ; https://orcid.org/0009-0008-8282-4746

RECBIDO 12 NOV 2026 ACEPTADO 14 NOV 2026 PUBLICADO 16 NOV 2026

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito comparar la medición de caudales mediante la canaleta Parshall y el método del flotador en el canal Toma Alta-San Francisco, ubicado en el distrito de La Peca, provincia de Bagua, Amazonas. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y con un diseño experimental comparativo. Para ello, se realizaron diez mediciones con cada método. En la canaleta Parshall, el caudal se calculó a partir de la carga hidráulica registrada y su correspondiente ecuación de descarga. Para el método del flotador se midió el tiempo que tardó un elemento flotante en recorrer un tramo de 10 m, considerando un factor de corrección de velocidad de 0,85 y el área hidráulica del canal. Los resultados mostraron un caudal promedio de 201,90 L/s para la canaleta Parshall y 210,86 L/s para el método del flotador, con una diferencia relativa de 4,44 %. Asimismo, se obtuvieron coeficientes de variación de 0,25 % y 1,22 %, respectivamente, lo que evidencia una menor dispersión en las mediciones de la canaleta Parshall. Se concluye que ambos métodos permiten estimar el caudal en canales abiertos, aunque sus resultados presentan diferencias relacionadas con el procedimiento de medición y las condiciones de aplicación.

DCIE | Divulgación Científica de Investigación y Emprendimiento
ISSN: 3028-9157 (En línea)

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

Palabras clave: canaleta Parshall, flotadores, caudal, canal hidráulico.

Abstract

The purpose of this research was to compare flow rate measurements obtained using a Parshall flume and the float method in the Toma Alta-San Francisco canal, located in the La Peca district, Bagua province, Amazonas. The study followed a quantitative, applied approach with a comparative experimental design. Ten measurements were taken using each method. For the Parshall flume, the flow rate was calculated based on the recorded hydraulic head and its corresponding discharge equation. For the float method, the time taken for a floating object to travel a 10-meter stretch was measured, incorporating a velocity correction factor of 0.85 and the hydraulic cross-sectional area of the canal. The results showed an average flow rate of 201.90 L/s for the Parshall flume and 210.86 L/s for the float method, representing a relative difference of 4.44%. Furthermore, coefficients of variation of 0.25% and 1.22% were obtained, respectively, indicating less dispersion in the measurements taken with the Parshall flume. It is concluded that both methods can be used to estimate flow rates in open channels, although their results differ due to the specific measurement procedures and the conditions under which they are applied.

Keywords: Parshall flume, floats, flow rate, hydraulic canal.

Resumo

A presente pesquisa teve como objetivo comparar a medição de vazões por meio da calha Parshall e do método do flutuador no canal Toma Alta-San Francisco, localizado no distrito de La Peca, província de Bagua, Amazonas. O estudo foi desenvolvido sob uma abordagem quantitativa, de natureza aplicada e com um delineamento experimental comparativo. Para tanto, foram realizadas dez medições com cada método. Na calha Parshall, a vazão foi calculada a partir da carga hidráulica registrada e de sua respectiva equação de descarga. No método do flutuador, mediu-se o tempo que um elemento flutuante levou para percorrer um trecho de 10 m, considerando um fator de correção de velocidade de 0,85 e a área hidráulica do canal. Os resultados mostraram uma vazão média de 201,90 L/s para a calha Parshall e 210,86 L/s para o método do flutuador, com uma diferença relativa de 4,44%. Além disso, obtiveram-se coeficientes de variação de 0,25% e 1,22%, respectivamente, o que evidencia uma menor dispersão nas medições realizadas com a calha Parshall. Conclui-se que ambos os métodos permitem estimar a vazão em canais abertos, embora seus resultados apresentem diferenças relacionadas ao procedimento de medição e às condições de aplicação.

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

Palavras-chave: calha Parshall, flutuadores, vazão, canal hidráulico**.**

Introducción

La medición del caudal constituye un paso fundamental en el estudio, aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos, particularmente en sistemas de conducción mediante canales abiertos destinados al riego y otras actividades productivas. En términos sencillos, la medición del caudal nos permite saber exactamente qué volumen de agua está pasando por una determinada sección en un momento preciso de un sistema de conducción. La determinación del caudal es particularmente importante para el diseño y operación de sistemas de riego, distribución de agua, drenaje y control hidráulico, puesto que permite evaluar las condiciones de funcionamiento y distribución del recurso. Sin esta información, sería muy difícil saber si una infraestructura está funcionando como debería o si el agua se está repartiendo de forma justa y eficiente. En este contexto, la utilización de métodos de aforo que representan una alternativa para obtener estimaciones de manera práctica, confiable y accesible de calcular el caudal resulta relevante para obtener información hidráulica bajo condiciones de campo. Para estimar el caudal en cauces abiertos existen diversas alternativas técnicas, cuya elección depende fundamentalmente del principio físico empleado, la norma ASTM D1941-21 establece el procedimiento normalizado para la medición mediante canaletas Parshall, que relacionan el nivel del agua con la descarga, siendo la más representativa; por otro lado, la norma ISO 748:2021 incluye el método del flotador, procedimientos basados en la velocidad y el área de la sección transversal. (International Organization for Standardization [ISO], 2021) y (ASTM International, 2021). Dado que ambos enfoques operan bajo principios distintos, su ejecución en condiciones similares permite contrastar sus resultados y examinar las variaciones derivadas de su aplicación práctica.

DCIE | Divulgación Científica de Investigación y Emprendimiento
ISSN: 3028-9157 (En línea)

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

La canaleta Parshall es una estructura hidráulica empleada para medir caudales en canales abiertos y sistemas de conducción, una estructura creada durante la década de 1920 y desarrollada originalmente para medir flujos de agua destinados al riego, su configuración geométrica comprende tres zonas: una entrada convergente, una garganta angosta con un desnivel en el suelo y una salida divergente. Esta geometría tan particular estrecha el paso del agua y acelera su velocidad hasta generar un *flujo crítico*, logrando que la cantidad de agua que pasa dependa directamente de su altura (Heyrani et al., 2022). Diversos autores, como (Khosronejad et al., 2021), señalan su efectividad, aunque advierten que su comportamiento puede alterarse por factores como las condiciones de aproximación del flujo, tolerancias geométricas, problemas de nivelación o fluctuaciones en la superficie libre, sobre todo en rangos de caudal bajo. Otro aspecto que debe considerarse es la incertidumbre asociada con las mediciones realizadas mediante este tipo de estructuras. (Ribeiro et al., 2021) analizaron dicha incertidumbre utilizando información experimental obtenida en un canal abierto y simulaciones desarrolladas mediante el método de Monte Carlo. El estudio reportó diferencias relativas de hasta 12 % entre los escenarios evaluados, dependiendo de la manera en que se consideraron los parámetros del modelo y las correlaciones existentes entre ellos. Los autores concluyeron que la incertidumbre presente en los parámetros empleados para relacionar el nivel del agua con el caudal puede influir de manera importante en los resultados, por lo que debe ser tomada en cuenta al momento de valorar la confiabilidad de las mediciones obtenidas con canaletas Parshall.

La obtención precisa del nivel del agua representa, por otra parte, un elemento fundamental para el funcionamiento adecuado de este sistema de aforo. (Theodoro et al., 2023) comprobaron el buen desempeño de sensores ultrasónicos de bajo costo instalados en canaletas

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

Parshall, en condiciones de campo. La investigación se desarrolló en la granja experimental de la Universidad Federal de Grande Dourados, Brasil, donde se utilizaron sensores HC-SR04 y se compararon sus lecturas con instrumentos de referencia. Los resultados mostraron valores de (R^2) superiores a 0,95 en las curvas de comparación, lo que evidenció que estos dispositivos podían proporcionar información útil sobre el nivel del agua. Este antecedente resulta importante porque demuestra que la precisión en la medición del nivel es un componente esencial para obtener una estimación adecuada del caudal mediante una canaleta Parshall. Como alternativa de campo más accesible, el método del flotador permite calcular la velocidad superficial midiendo el tiempo que tarda un cuerpo en recorrer una longitud predeterminada, la cual se multiplica luego por el área hidráulica. Aunque es un método económico y versátil, sus estimaciones dependen de variables como la distribución de velocidades, el estado de la superficie y el factor de corrección entre la velocidad superficial y la media. De forma complementaria, (Zhang et al., 2025) desarrollaron y evaluaron un dispositivo ultrasónico multicanal para medir el flujo en canales de riego, con desviaciones de 0,16 % a 0,93 % respecto de un caudalímetro electromagnético durante sus pruebas dinámicas. Estos antecedentes muestran el potencial de la instrumentación para mejorar el registro de variables hidráulicas, aunque su aplicación requiere calibración y validación en las condiciones específicas del canal.(R^2)

La aplicación de esta metodología ha sido estudiada por (Abed, 2021) quien evaluó el uso de esferas plásticas como flotadores integradores, reportando una alta correspondencia con métodos de referencia, registrándose errores menores al 2,5% y recomendando el uso de elementos pequeños y con una densidad relativa próxima a la unidad para optimizar la precisión. Debido a que la canaleta Parshall y el método del flotador se fundamentan en

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

principios teóricos diferentes, contrastar ambos procedimientos permite identificar discrepancias atribuibles a la geometría del canal, las condiciones de aproximación, la toma de datos o la distribución de velocidades, sin asumir a priori la superioridad absoluta de uno sobre el otro. En consecuencia, realizar una comparación experimental resulta útil para determinar el nivel de concordancia entre ambos procedimientos sin asumir de antemano que uno de ellos necesariamente producirá el valor más exacto.

La necesidad de contrastar diferentes procedimientos de aforo también se encuentra respaldada por investigaciones relacionadas con el comportamiento de las canaletas Parshall. (Khosronejad et al., 2021) y (Abed, 2021) permiten reconocer que comparar distintas metodologías constituye una estrategia apropiada para evaluar la confiabilidad de las mediciones realizadas en condiciones reales.

En lugares como Bagua, donde la agricultura sustenta gran parte de la economía local y la infraestructura de riego es fundamental, el estudio de los caudales circulantes constituye un aspecto clave. (Urbina et al., 2022) analizaron los canales de regadío de Bagua a través de trabajo de campo, cálculos hidráulicos y elaboración de modelos matemáticos para estudiar el comportamiento de diferentes conductos abiertos. Los resultados resaltan la importancia de efectuar mediciones directamente sobre los sistemas existentes y contrastarlas posteriormente con los valores obtenidos mediante procedimientos de cálculo.

De manera similar, existen antecedentes relacionados con la infraestructura hidráulica de La Peca y su función en el aprovechamiento del recurso hídrico. (Altamirano Tocas, 2020) abordó el diseño del canal lateral El Zapote en La Peca, evidenciando la importancia de optimizar los sistemas de riego en la zona. Del mismo modo, registros técnicos de entidades como EMAPAB

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

sitúan al canal La Peca como una fuente superficial estratégica para el abastecimiento urbano, contextualizando geográficamente la zona de estudio. Partiendo de estos antecedentes, si bien la literatura ha profundizado en el comportamiento de las canaletas Parshall y en las bondades de los aforos con flotadores, persiste la necesidad de evaluar experimentalmente ambos métodos de manera conjunta bajo las condiciones reales de operación de un canal en Bagua.

Por lo tanto, la presente investigación propone realizar una evaluación comparativa de los caudales determinados mediante una canaleta Parshall y el método del flotador en el canal Toma Alta-San Francisco, sector La Peca, ubicado en Bagua, Amazonas. Para ello, se efectuarán mediciones directamente en campo bajo condiciones de flujo similares, con el propósito de determinar las diferencias entre ambas metodologías y analizar el grado de concordancia de sus resultados. De esta manera, se busca generar evidencia experimental que contribuya al conocimiento y evaluación de los métodos de aforo aplicables a canales abiertos dentro del contexto hidráulico local.

Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y con diseño experimental de campo y comparativo, orientada a la comparación del caudal mediante dos métodos de aforo: la canaleta Parshall y el método del flotador, aplicados en condiciones reales de funcionamiento de un canal abierto. La investigación se desarrolló en cinco fases.

La primera fase consistió en la búsqueda, revisión y selección de fuentes de información. Inicialmente, se realizó una búsqueda amplia de artículos científicos y fuentes de información relacionados con la medición de caudales en canales abiertos, canaletas Parshall, método del flotador, determinación de variables hidráulicas y comparación de métodos de aforo. Como

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

resultado de esta búsqueda inicial, se identificaron un total de quince artículos y fuentes de información potencialmente relacionados con el tema de estudio. Para asegurar información actualizada y con contexto local, se consultaron bases de datos como ScienceDirect y SciELO, junto con revistas especializadas y repositorios institucionales, priorizando publicaciones entre los años 2020 y 2026. Siguiendo las directrices del enfoque PRISMA 2020, la selección se estructuró en etapas de identificación, elegibilidad e inclusión. Se priorizaron aquellos estudios con rigor metodológico, disponibilidad de datos y relación directa con los métodos de aforo evaluados. Durante el proceso de selección se consideraron como criterios de inclusión el año de publicación, la relación directa con la medición de caudales en canales abiertos, el empleo de canaletas Parshall o método del flotador, y la disponibilidad de información para sustentar el presente estudio. Se descartaron publicaciones fuera del rango temporal o con bajo aporte al objetivo de la investigación. Después de aplicar los criterios de selección establecidos, se incluyeron finalmente diez artículos y fuentes de información, los cuales fueron considerados pertinentes por aportaron fundamentos teóricos, procedimientos de medición y antecedentes relacionados directamente con las variables estudiadas. En la Tabla 1 se detallan los autores de mayor relevancia y su contribución específica a este artículo.

Tabla 1

Fuentes de información seleccionadas y aporte conceptual y metodológico al artículo

Autor y año	Tema principal	Aporte para el artículo
Khosronejad et al. (2021)	Evaluación de canaletas Parshall mediante mediciones de campo y modelación	Sustenta la medición del caudal mediante canaleta Parshall
Ribeiro et al. (2021)	Incertidumbre en la medición de caudal con canaletas Parshall	Fundamentos sobre incertidumbre, variabilidad y confiabilidad de las mediciones
Abed (2021)	Medición de flujo mediante flotadores en canales abiertos	Sustenta el procedimiento experimental del método del flotador y la determinación de velocidad y caudal

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

Urbina et al. (2022)	Cálculo hidráulico en canales de regadío de Bagua	Aporta procedimientos de medición de variables hidráulicas y antecedentes del contexto de Bagua
Theodoro et al. (2023)	Medición de nivel en canaletas Parshall mediante sensores	Aporta antecedentes sobre medición del nivel de agua, repetición de lecturas y evaluación de resultados en canaletas Parshall
Altamirano Tocas (2020)	Diseño de canal lateral de riego en La Peca, Bagua	Contexto específico de la red de riego local y demanda del recurso hídrico.
Heyrani et al. (2022)	Revisión del modelamiento numérico y experimental de canaletas Parshall	Sustenta la influencia de la geometría, instalación y condiciones del flujo en la curva nivel-caudal.
(International Organization for Standardization [ISO], 2021)	Norma internacional para medición de caudal en canales abiertos mediante métodos velocidad-área	Establece el marco técnico para mediciones de velocidad superficial, incluidos los flotadores.
(ASTM International, 2021)	Método normalizado para medir flujo en canales abiertos con canaleta Parshall	Aporta criterios técnicos para la medición con canaletas Parshall.
(Zhang et al., 2025)	Diseño y ensayo de un caudalímetro ultrasónico multicanal para canales de riego	Aporta evidencia reciente sobre instrumentación ultrasónica y medición de caudal en canales agrícolas.

La segunda fase correspondió al área de estudio y reconocimiento del canal. El trabajo de campo se realizó en el canal Toma Alta–San Francisco, ubicado en La Peca, provincia de Bagua, región Amazonas, donde se identificó una estructura de medición tipo canaleta Parshall instalada en el sistema de conducción. Durante esta etapa se realizó el reconocimiento de las condiciones físicas del canal y de la estructura de aforo, considerando las características de la sección, las condiciones del flujo y la accesibilidad para la toma de datos. La selección de variables hidráulicas y la realización de mediciones directamente en canales de regadío de la provincia de Bagua tienen como antecedente el trabajo desarrollado por (Urbina et al., 2022),

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

quienes efectuaron mediciones de campo de variables geométricas e hidráulicas para determinar el comportamiento del flujo en canales de la zona.

La tercera fase correspondió a la medición del caudal mediante la canaleta Parshall. Para ello, se midió la tirante de agua (h) en la estructura y se transformó a caudal mediante la escala de calibración propia del medidor. Se registraron 10 repeticiones para asegurar la consistencia de los datos, siguiendo el protocolo de evaluación de fluctuaciones y lectura de niveles en escala real descrito por (Khosronejad et al., 2021) y (Theodoro et al., 2023) así como en los criterios de medición establecidos en ASTM D1941-21 (ASTM International, 2021).

La cuarta fase correspondió a la determinación del caudal mediante el método del flotador. Para ello, se seleccionó un tramo de 10 m de longitud en una zona recta y uniforme del canal, procurando reducir la influencia de obstáculos, turbulencias y variaciones de la sección. Se utilizaron una cinta métrica para delimitar la distancia, un cronómetro para registrar el tiempo de recorrido y una mandarina como elemento flotante. La elección de este elemento se fundamentó en que los procedimientos de aforo mediante flotadores emplean objetos simples, visibles y con capacidad de desplazarse sobre la superficie del agua, habiéndose reportado el uso de frutos como la naranja para este tipo de mediciones. El elemento flotante fue colocado ligeramente aguas arriba del punto inicial de medición, permitiendo que alcanzara el régimen de desplazamiento del flujo antes de iniciar el registro del tiempo. El cronómetro se activó cuando el elemento atravesó el punto inicial y se detuvo al alcanzar el punto final, correspondiente a los 10 m de recorrido. Este procedimiento se repitió 10 veces, con la finalidad de obtener una serie de tiempos que permitiera determinar un valor representativo del desplazamiento superficial. La velocidad superficial se calculó mediante la relación $V_S = \left(\frac{L}{t}\right)$, donde (L) corresponde a la longitud del tramo y (t) al tiempo registrado. Para determinar la

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

velocidad media $V_m = C.V_S$ del flujo se aplicó el factor de corrección $C = 0.85$, para canales de sección uniforme según lo recomendado por (Abed, 2021). Posteriormente se determinó el caudal mediante la ecuación de continuidad ($Q = V \cdot A$). Este procedimiento se relaciona con la metodología mediante flotadores descrita en estudios experimentales de canales abiertos y aplicada en investigaciones hidráulicas desarrolladas en canales de regadío de Bagua (Urbina et al., 2022).

La quinta fase correspondió al procesamiento y comparación de los resultados obtenidos mediante ambos métodos. Para cada procedimiento se organizaron los datos correspondientes a las 10 repeticiones y se determinaron los valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación, con la finalidad de evaluar la dispersión de las mediciones.

Finalmente, se determinaron las diferencias absoluta y relativa entre el caudal por Parshall (Q_P) y por flotador (Q_F). De esta manera, se evaluó el grado de concordancia entre los métodos bajo las condiciones reales de funcionamiento del canal Toma Alta-San Francisco, sin asumir a priori ninguna de ellas como valor absoluto en concordancia con el esquema comparativo de (Khosronejad et al., 2021) y (Abed, 2021).

Resultados

1. Medición del caudal mediante la canaleta Parshall

La evaluación de la canaleta Parshall se realizó mediante diez lecturas consecutivas del tirante de agua, utilizando como referencia la escala de medición instalada en la estructura.

Figura 1

Medición del tirante de agua en la canaleta Parshall del canal Toma Alta-San Francisco.

DCIE | Divulgación Científica de Investigación y Emprendimiento
ISSN: 3028-9157 (En línea)

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index



Debido al deterioro de la regla graduada original, las lecturas se efectuaron con un flexómetro, lo que permitió registrar la altura del agua en cada repetición y los diferentes parámetros hidráulicos de acuerdo a las especificaciones ya estandarizadas de la estructura hidráulica.

Tabla 2

Parámetros hidráulicos

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PARÁMETROS HIDRÁULICOS			
Ancho de garganta (W)	30.50	cm	Garganta estandarizada W = 1 ft (12 in)
Tirante de agua (Ha-m)	0.4449	m	Conversión a metros (0.445 m)
Ubicación de la regla	115.0000	m	Distancia aguas arriba del tramo flotador
Coeficiente C (SI)	0.6909	-	Coeficiente calibrado para W = 1 ft en SI
Exponente n	1.5190	-	Exponente empírico hidráulico
Caudal Teórico Parshall (Q-P)	0.2019	m^3/s	Fórmula $Q = C * Ha^n$

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

La Tabla 3 presenta los resultados obtenidos durante las diez repeticiones. A partir de las lecturas del tirante y de la relación de descarga utilizada en el procesamiento de datos, se determinaron los caudales correspondientes a cada medición. El caudal promedio calculado fue de 201,90 L/s, con una desviación estándar de 0,51 L/s y un coeficiente de variación de aproximadamente 0,25 %. Estos indicadores evidencian una baja dispersión de los valores calculados durante el periodo de medición.

Tabla 3

Sistematización de las mediciones de caudal mediante la canaleta Parshall

Repetición	Lectura Ha [cm]	Lectura Ha [m]	Caudal Parshall (QP) [m³/s]	Caudal Parshall (QP) [L/s]
1	44.50	0.4450	0.2020	201.96
2	44.40	0.4440	0.2013	201.28
3	44.60	0.4460	0.2027	202.65
4	44.50	0.4450	0.2020	201.96
5	44.50	0.4450	0.2020	201.96
6	44.60	0.4460	0.2027	202.65
7	44.40	0.4440	0.2013	201.28
8	44.50	0.4450	0.2020	201.96
9	44.50	0.4450	0.2020	201.96
10	44.40	0.4440	0.2013	201.28
Promedio ($\bar{X}$)	44.49	0.4449	0.2019	201.90
Desviación Estándar (S)	0.07	0.0007	0.0005	0.51
Coeficiente de Variación (CV)	0.17%	0.17%	0.25%	0.25%

Los resultados muestran variaciones reducidas del tirante, comprendidas entre 44,4 y 44,6 cm, equivalentes a una diferencia máxima de 2 mm entre las lecturas registradas en los caudales

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

calculados. No obstante, la baja dispersión observada representa la consistencia de las lecturas obtenidas durante estas diez repeticiones. En particular, el deterioro de la regla original y el uso de una regla metálica como instrumento alternativo constituyen una condición que debe considerarse al interpretar los resultados.

2. Medición del caudal mediante el método del flotador

La determinación del caudal mediante el método del flotador se realizó en un tramo de 10 m de longitud, seleccionado en un sector aproximadamente uniforme del canal. Para el registro del tiempo de recorrido se utilizó una mandarina como elemento flotante y un cronómetro, repitiéndose el procedimiento diez veces entre los puntos inicial y final del tramo.

Tabla 4
Parámetros hidráulicos

DATOS GEOMÉTRICOS DEL CANAL TRAPEZOIDAL			
Ancho de plantilla (b)	0.40	m	Base inferior del canal
Tirante de agua (y)	0.37	m	Profundidad del flujo
Talud del canal (z)	1.00	-	Inclinación de paredes 1:1
Área hidráulica (A)	0.2804	m²	Área trapezoidal $A = (b * zy)y$
Longitud del tramo (L)	10.00	m	Distancia recorrida por flotador
Coeficiente de velocidad (C)	0.85	-	Factor de corrección por rugosidad (concreto)

DCIE | Divulgación Científica de Investigación y Emprendimiento
ISSN: 3028-9157 (En línea)

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

Figura 2

Tramo del canal utilizado para la medición del caudal mediante el método del flotador.



La Tabla 5 presenta los tiempos de recorrido y los caudales calculados en cada repetición. Los tiempos registrados oscilaron entre 11,11 y 11,60 s, mientras que los caudales estimados variaron entre 205,43 y 214,49 L/s. El promedio obtenido fue de 210,86 L/s, con una desviación estándar de 2,58 L/s y un coeficiente de variación de 1,22 %.

DCIE | Divulgación Científica de Investigación y Emprendimiento
ISSN: 3028-9157 (En línea)

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

Tabla 5

Sistematización de las mediciones de caudal mediante el método del flotador

REPETICIÓN	TIEMPO (t) [s]	Vel. SUPERFICIAL (Vs) [m/s]	Vel. MEDIA (Vm) [m/s]	CAUDAL (Q) [m³/s]	CAUDAL (Q) [L/s]
1	11.34	0.8818	0.7496	0.2101	210.14
2	11.37	0.8795	0.7476	0.2096	209.59
3	11.40	0.8772	0.7456	0.2090	209.04
4	11.60	0.8621	0.7328	0.2054	205.43
5	11.11	0.9001	0.7651	0.2145	214.49
6	11.31	0.8842	0.7515	0.2107	210.70
7	11.20	0.8929	0.7589	0.2128	212.77
8	11.18	0.8945	0.7603	0.2132	213.15
9	11.31	0.8842	0.7515	0.2107	210.70
10	11.21	0.8921	0.7583	0.2126	212.58
Promedio ($\bar{X}$)	11.30	0.8848	0.7521	0.2109	210.86
Desviación Estándar (S)	0.14	0.0108	0.0092	0.0026	2.58
Coeficiente de Variación (CV)	1.23%	1.22%	1.22%	1.22%	1.22%

La variación de los tiempos de recorrido produjo diferencias en las velocidades superficiales y, en consecuencia, en los caudales estimados. La repetición 5 presentó el menor tiempo registrado (11,11 s) y el mayor caudal calculado (214,49 L/s); por el contrario, la repetición 4 registró el mayor tiempo (11,60 s) y el menor caudal (205,43 L/s). Este comportamiento es

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

coherente con la relación inversa entre el tiempo de recorrido y la velocidad calculada para una distancia constante.

3. Comparación de los caudales obtenidos mediante ambos métodos

La comparación de los resultados permitió evaluar las diferencias entre los caudales determinados mediante la canaleta Parshall y el método del flotador en las diez repeticiones realizadas en el canal Toma Alta-San Francisco.

La Tabla 6 presenta los valores obtenidos en cada repetición, así como las diferencias absolutas y relativas entre ambos procedimientos.

Tabla 6

Comparación de los caudales obtenidos (PARSHALL vs. FLOTADOR)

REPETICIÓN	CAUDAL PARSHALL (QP) [L/S]	CAUDAL FLOTADOR (QF) [L/S]	DIFERENCIA ABSOLUTA |QF - QP| [L/S]	DIFERENCIA RELATIVA / ERROR (%)
1	201.96	210.14	8.18	+4.05%
2	201.28	209.59	8.31	+4.13%
3	202.65	209.04	6.38	+3.15%
4	201.96	205.43	3.47	+1.72%
5	201.96	214.49	12.53	+6.20%
6	202.65	210.70	8.05	+3.97%
7	201.28	212.77	11.50	+5.71%
8	201.96	213.15	11.19	+5.54%
9	201.96	210.70	8.74	+4.33%

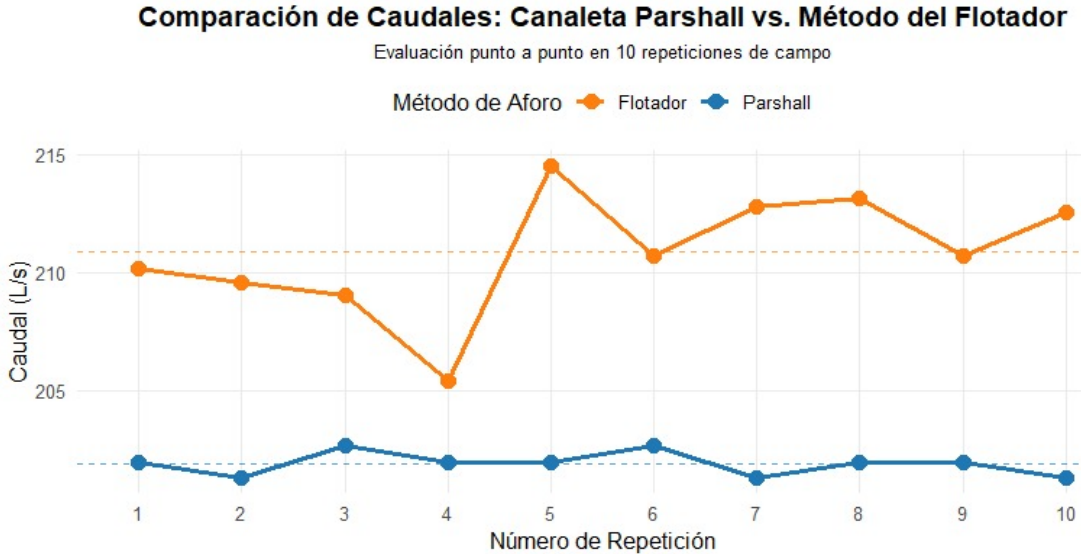
ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

10	201.28	212.58	11.31	+5.62%
Promedio (X̄)	201.90	210.86	8.96	+4.44%
Desviación Estándar (S)	0.51	2.58	2.76	1.37%
Coef. Variación (CV)	0.25%	1.22%	-	-

3.1 Comparación gráfica de los resultados

Figura 3.

Comparación de caudales por repetición: canaleta Parshall y método del flotador

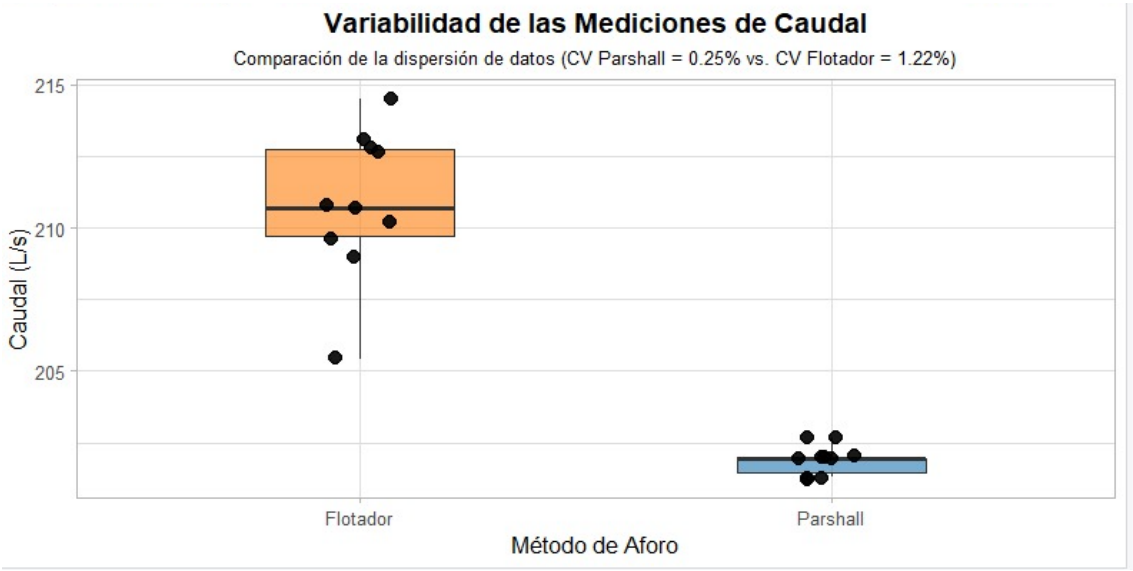


La Figura 3 muestra el comportamiento de los caudales registrados en las diez repeticiones. La serie correspondiente al método del flotador presenta mayores fluctuaciones, con valores entre 205,43 y 214,49 L/s, mientras que las mediciones de la canaleta Parshall se mantienen en un intervalo más reducido. Asimismo, se observa que los valores del flotador superan a los del Parshall, evidenciando una diferencia sistemática entre los resultados de ambos procedimientos durante el periodo evaluado.

Figura 4.

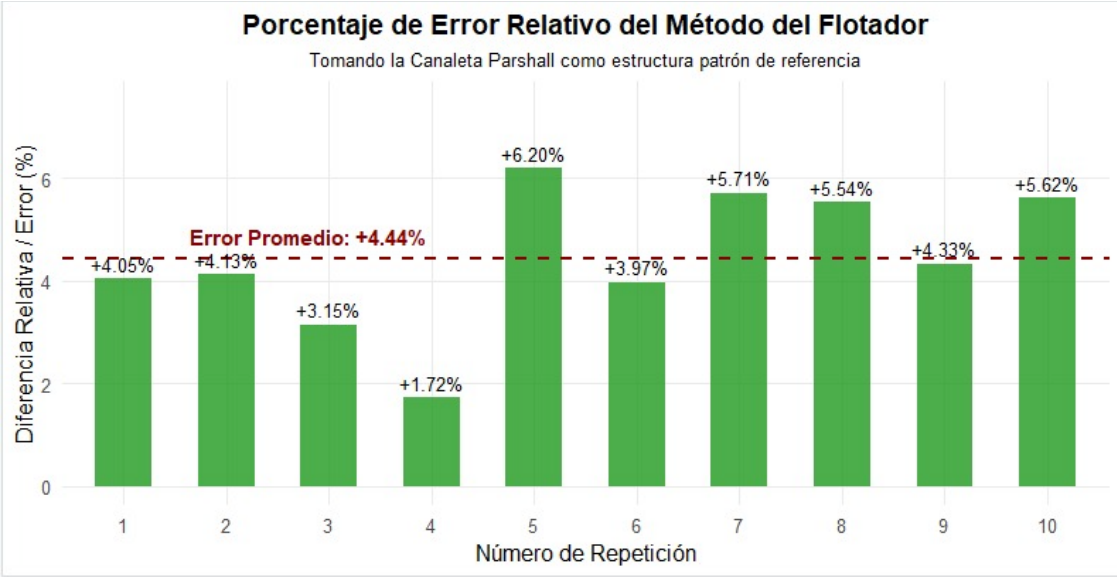
Variabilidad de las mediciones de caudal según el método de aforo

DCIE | Divulgación Científica de Investigación y Emprendimiento
ISSN: 3028-9157 (En línea)
ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index



La Figura 4 presenta la distribución y dispersión de los caudales obtenidos mediante ambos métodos. El diagrama muestra una mayor amplitud de los datos del flotador, en comparación con la agrupación más estrecha de los valores del Parshall. Esto coincide con los coeficientes de variación calculados: aproximadamente 1,22 % para el flotador y 0,25 % para el Parshall. Por tanto, las mediciones de Parshall presentaron menor variabilidad relativa entre las repeticiones.

Figura 5.
Diferencia relativa entre el método del flotador y la canaleta Parshall



La Figura 5 muestra la diferencia relativa de cada repetición, tomando la canaleta Parshall como referencia. Los valores se encuentran entre 1,72 % y 6,20 %, con un promedio de 4,44 %. La menor diferencia se registró en la cuarta repetición, mientras que la mayor correspondió

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

a la quinta. Estos resultados permiten cuantificar la separación entre las estimaciones de ambos métodos y muestran que dicha diferencia no fue constante durante las mediciones.

Discusión

Los resultados obtenidos en el canal Toma Alta-San Francisco ponen de manifiesto una clara diferenciación operativa entre ambas metodologías de aforo, respondiendo directamente al objetivo de evaluar su concordancia hidráulica en condiciones reales de campo. El método del flotador registró un caudal promedio de 210.86 l/s menor ($CV = 1.22\,\%$), resultando en una estimación sistemáticamente superior con una diferencia relativa promedio del $+\,4.44\,\%$ $\left(+\,8.96\ {}^{l}/_{s}\right)$ en comparación con la canaleta Parshall, la cual reportó un caudal promedio de 201.90 l/s y una dispersión sensiblemente menor ($CV = 0.25\,\%$). Esta mayor estabilidad en las lecturas de la canaleta Parshall confirma que las estructuras modulares de aforo restringen la variabilidad del escurrimiento al forzar un régimen crítico gobernado por las dimensiones fijas de la garganta, principio respaldado por (Khosronejad et al., 2021) al señalar que la geometría estandarizada atenúa las oscilaciones de la superficie libre. En contraste, las mediciones velocimétricas del flotador capturan las fluctuaciones instantáneas de la velocidad superficial y la turbulencia local del canal, lo que coincide con lo expuesto por (Abed, 2021) respecto a la dispersión inherente que experimentan los objetos flotantes en corrientes abiertas no reguladas.

La discrepancia cuantitativa del $+\,4.44\,\%$ observada entre ambos métodos se explica hidrodinámicamente por la distribución no uniforme de velocidades en la sección transversal trapezoidal y por la adopción de un factor de corrección empírico estándar (k = 0,85) para convertir la velocidad superficial en velocidad media. Al contrastar estos hallazgos con la literatura especializada, (Abed, 2021) reportó un margen de error inferior al 2,5 % en ensayos

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

de laboratorio utilizando esferas plásticas como flotadores integradores; sin embargo, en el canal Toma Alta-San Francisco la desviación fue mayor, lo que evidencia que las condiciones naturales de turbulencia y geometría irregular en obras de regadío incrementan la incertidumbre del método directo. Asimismo, este comportamiento concuerda con lo demostrado por (Urbina et al., 2022) en los canales de regadío de la provincia de Bagua, quienes sostienen que los modelos teóricos y las fórmulas empíricas sin calibración específica suelen sobreestimar los caudales reales de conducción. Por su parte, (Ribeiro et al., 2021) fundamentan que la incertidumbre acumulada en los parámetros de calibración de una canaleta Parshall puede alcanzar hasta un 12 % cuando no se consideran las correlaciones geométricas del modelo, lo que ratifica que la menor dispersión estadística del aforador estructural no debe asumirse a priori como una exactitud absoluta, sino como una mayor consistencia repetitiva.

Es indispensable reconocer las limitaciones físicas e instrumentales enfrentadas durante el trabajo de campo en el sector La Peca. En primer lugar, el deterioro severo de la regla graduada original de la canaleta Parshall obligó a registrar el tirante hidráulico promedio ($Ha = 0.4449\ m$) mediante una cinta metálica flexómetro; aunque la variabilidad entre lecturas fue de apenas 2 mm, (Theodoro et al., 2023), demuestran que pequeñísimas desviaciones milimétricas en la determinación de la lámina de agua alteran de forma no lineal el cálculo del caudal mediante la fórmula de descarga. En segundo lugar, el estado físico del canal Toma Alta-San Francisco presentó restricciones hidráulicas severas, tales como rugosidad heterogénea en las paredes de concreto, sumado a la presencia de vegetación y maleza en los bordes de la sección de aproximación. Estas irregularidades periféricas distorsionaron el perfil de velocidades de aproximación y generaron ondas secundarias en la superficie libre, factor

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

que (Khosronejad et al., 2021) identifican como la principal causa de alteración en el coeficiente de descarga de los aforadores Parshall en infraestructura agrícola rural.

Desde la perspectiva de la gestión del agua de riego en el distrito de La Peca, una diferencia del 4,44 % representa un volumen no contabilizado de aproximadamente 774,1 m³ diarios en el canal Toma Alta-San Francisco. Esta cifra resulta de alta trascendencia práctica para la distribución equitativa del recurso entre las comisiones de usuarios, coincidiendo con lo planteado por (Altamirano Tocas, 2020) sobre la urgente necesidad de optimizar la eficiencia de conducción en la red del canal lateral para fortalecer la sostenibilidad de los cultivos de arroz, café y pastos en la zona. Como proyección para futuras investigaciones, se sugiere trascender la medición manual mediante la implementación de programas continuos de mantenimiento del canal (maleza y resanado de paredes) y la automatización del registro de niveles mediante sensores ultrasónicos de bajo costo (tipo HC-SR04) acoplados a microcontroladores con curvas de calibración por temperatura. Esta solución tecnológica, probada con éxito por (Theodoro et al., 2023) al alcanzar coeficientes de determinación $R^2 > 0.95$en canaletas Parshall, permitirá eliminar los errores de paralaje humano, monitorear en tiempo real la oferta hídrica y dotar a la agricultura de Bagua de un sistema de aforo preciso, económico y adaptable a las inclemencias del entorno rural.

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

Conclusiones

El análisis de la variabilidad evidenció que las mediciones realizadas mediante la canaleta Parshall presentaron mayor consistencia entre las diez repeticiones, con un coeficiente de variación de 0,25 %, frente al 1,22 % obtenido mediante el método del flotador. Estos resultados muestran una menor dispersión de las estimaciones obtenidas con la canaleta durante el periodo evaluado; sin embargo, esta condición no representa necesariamente una mayor exactitud del método.

La aplicación del método del flotador permitió estimar el caudal a partir de la velocidad superficial, el factor de corrección de 0,85 y el área hidráulica del canal. No obstante, las variaciones en los tiempos de recorrido influyeron directamente en los valores calculados, evidenciando la importancia de controlar las condiciones de medición y las características del flujo durante su aplicación en canales abiertos.

La investigación permitió establecer que ambos procedimientos constituyen alternativas para la estimación del caudal en canales abiertos, aunque sus resultados pueden presentar diferencias asociadas a sus principios de medición y condiciones de aplicación. La ausencia de un método independiente de referencia y el deterioro de la escala original de la canaleta Parshall constituyen limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En ese sentido, el estudio aporta información experimental sobre el comportamiento de ambos métodos en las condiciones evaluadas del canal Toma Alta–San Francisco, en La Peca, Bagua.

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

Referencias

Abed, B. S. (2021). Flow Measurements in Open Channels Using Integrating-Floats. *Journal of Engineering*, *27*(1), 130-141. https://doi.org/10.31026/j.eng.2021.01.09

Altamirano Tocas, R. E. (2020). *Diseño del sistema del canal lateral el Zapote para la irrigación en la localidad la Peca, Bagua – Amazonas 2018*.

ASTM International. (2021). *Standard Test Method for Open Channel Flow Measurement of Water with the Parshall Flume*. https://store.astm.org/d1941-21.html

Heyrani, M., Mohammadian, A., Nistor, I., & Dursun, O. F. (2022). Application of Numerical and Experimental Modeling to Improve the Efficiency of Parshall Flumes: A Review of the State-of-the-Art. *Hydrology*, *9*(2), 26. https://doi.org/10.3390/hydrology9020026

International Organization for Standardization [ISO]. (2021). *ISO 748:2021*. ISO. https://www.iso.org/cms/live/live/es/sites/isoorg/contents/data/standard/07/27/72754.html

Khosronejad, A., Herb, W., Sotiropoulos, F., Kang, S., & Yang, X. (2021). Assessment of Parshall flumes for discharge measurement of open-channel flows: A comparative numerical and field case study. *Measurement*, *167*, 108292. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108292

Ribeiro, Á. S., Alves e Sousa, J., Simões, C., Lages Martins, L., Dias, L., Mendes, R., & Martins, C. (2021). Parshall flumes flow rate uncertainty including contributions of the model parameters and correlation effects. *Measurement: Sensors*, *18*, 100108. https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100108

ISSN: 3028-9157
http://www.dcie.org.pe/index.php/dcie/index

Theodoro, F. L., Sanches, A. C., Cruz, T. A. C. da, Santos, R. C., Flumignan, D. L., & Jesus, F. L. F. de. (2023). Low-cost ultrasonic sensors for in-field experimentation data collection. *Ciência e Agrotecnologia*, *47*, e013422. https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1413-7054202347013422

Urbina, R. O. E., Paati, J. J. D., Alcalde, S. M. C., Flores, F. A. I., Baldera, N. S., Villarroel, R. Á. F., Quispe, C. C., Cáceres, G. G., León, M. E. C., & Vargas, D. J. C. (2022). Métodos numéricos aplicados al cálculo hidráulico en canales de regadío de Bagua. *Revista Científica Dékamu Agropec*, *3*(1), 20-34. https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v3i1.70

Zhang, J., Shi, C., Zhao, J., Gou, X., Wang, Y., Li, H., Zhang, X., & Zhao, W. (2025). Design and experiment of multi-channel ultrasonic square box flowmeter for agricultural irrigation channels. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, *41*(12), 132-142. https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.202412216